

## О НЕКОТОРЫХ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВАХ ПРЕПОДАВАНИЯ КУРСА ТОЭ

**Постановка проблемы.** Основы знаний по учебному курсу закладываются на лекциях, где наряду с рассмотрением научно-теоретических положений и установок курса, его методическим фундаментом решается одна из основных задач высшего образования – развитие методов логического мышления у студентов. По общеинженерным дисциплинам, к которым относится курс теоретические основы электротехники (ТОЭ), на лекции приходится около половины аудиторного времени, отводимого на весь курс.

В условиях уменьшения аудиторной нагрузки и постоянного сокращения часов на общеинженерные дисциплины особенно остро стал вопрос о сохранении основополагающих принципов и подходов, на которых базируется курс ТОЭ, при изложении материала на лекциях. Экономия лекционного времени и пренебрежение методологическими основами курса приводит к непоправимым последствиям: потере логической структуры курса, непониманию студентами подходов к его изучению, а, соответственно, снижению качества знаний по этому предмету.

Особенно отчетливо эти недостатки проявляются у студентов, которые поступают в вуз после окончания техникумов, где мало внимания уделяется методологическим основам. Такие студенты нечетко понимают, с какими схемами электрических цепей они работают, какие элементы изображены на этих схемах, какими параметрами характеризуются эти элементы: одним или несколькими и т.д. Отсюда возникает путаница в понимании поведения элементов в электрических цепях, неправильное толкование режимов работы электрических цепей, ошибки в записи основных законов.

Значительная часть выпускников УИПА получает базовое образование электротехнического и энергетического профиля, которое определяет их будущую профессию – преподаватель электротехнических дисциплин в вузах I – II уровня. И от того, насколько четко, основательно, методологически правильно будут заложены у них основы курса ТОЭ, зависит их профессиональное мастерство и преподавательский уровень.

В связи с этим является актуальным анализ методологических основ курса ТОЭ и его основополагающих принципов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В последние годы проблемам преподавания электротехнических дисциплин в вузах уделено достаточно много внимания. Так в работах [1-3] представлены результаты исследования теоретических основ разработки методики обучения электротехническим дисциплинам, описана дидактическая характеристика методики с применением информационных технологий, представлен ряд новых информационных технологий в электротехническом образовании. Проблемам содержания курса электротехники и написания учебников и учебных пособий по этому курсу посвящены работы [4-6].

Однако вопросы методологии преподавания курса ТОЭ, которым в свое время много внимания уделил А.Е. Каплянский [7], не находят своего должного отражения в современной литературе, что приводит к существованию различных подходов к основам курса и методикам его изложения.

**Постановка задачи.** Целью настоящей работы является изложение и акцентирование внимания на некоторых методологических основах преподавания курса ТОЭ, которые красной нитью должны проходить через весь курс, определяя подходы к изложению последующих специальных дисциплин электротехнического профиля.

Данная статья может служить хорошим подспорьем начинающим преподавателям, магистрам, а также студентам, изучающим электротехнические дисциплины.

**Изложение основного материала.** Существует два подхода к описанию электромагнитных процессов: теория электромагнитного поля – строгая физическая теория, имеющая дело с реальными физическими процессами, происходящими во времени и в пространстве, и теория электрических цепей – приближенная теория, рассматривающая электромагнитные процессы только во времени и оперирующая с интегральными величинами, такими как ток, напряжение, электродвижущая сила.

подавляющее большинство электромагнитных устройств используют для своей работы электрический ток, с которым непосредственно связано изменяющееся в пространстве и во времени электромагнитное поле. Электромагнитное поле, как и вещество, является одним из

видов материи и подчиняется всем законам физики.

Для описания электромагнитных явлений, изменяющихся во времени и в пространстве, используются уравнения Максвелла. Они связывают между собой вектора напряженностей электрического и магнитного поля, а также электрической и магнитной индукции  $(\vec{E}, \vec{H}, \vec{D}, \vec{B})$ , плотность тока, объемный заряд. Уравнения могут быть записаны в интегральной или дифференциальной форме. Подход, при котором изменения электромагнитных величин в реальном электромагнитном устройстве рассматриваются во времени в каждой точке пространства, является физически строгим подходом, получившим название теории электромагнитного поля.

На практике в большинстве случаев точный анализ электромагнитных явлений на основе уравнений Максвелла представляет собой очень сложную, а порой и неразрешимую задачу. Поэтому в конце XIX века сформировался другой, упрощенный подход к описанию электромагнитных явлений, который рассматривает электромагнитные процессы только во времени, отбрасывая пространство. Этот подход к описанию электромагнитных явлений получил название теории электрических и магнитных цепей. Он справедлив, если не учитываются волновые процессы в окружающем пространстве.

Ввиду конечности скорости распространения электромагнитных волн в ряде случаев необходимо учитывать время распространения волн. Однако, если физические размеры электротехнических устройств значительно меньше длины электромагнитной волны, на которой работает устройство, то волновыми процессами в пространстве можно пренебречь и рассматривать изменения токов и напряжений только во времени.

Все допущения и приближения, которые делаются при этом в теории цепей, обосновываются с помощью теории электромагнитного поля.

Теория электрических цепей основывается на приближенной замене реального электромагнитного устройства (объекта, электрической цепи) некоторой моделью (идеальной электрической цепью), адекватно отображающей его свойства. Для построения модели вводятся в рассмотрение идеализированные элементы (в действительности таких элементов нет), а для ее анализа используются такие интегральные скалярные величины, как ток, напряжение, электродвижущая сила, которые являются функциями только времени. Такое моделирование реальных электромагнитных устройств во многих случаях является наиболее рациональным методом их исследования наряду с проведением физического эксперимента. Однако при этом не следует забывать, что упрощение анализа электромагнитных явлений в теории цепей достигается за счет отбрасывания рассмотрения процессов в пространстве, что отдаляет его от строгой физической основы.

Электромагнитные процессы и явления, которые не могут быть описаны в рамках теории цепей, требуют применения математического аппарата теории электромагнитного поля.

Таким образом, в основе теории электрических цепей, с которой чаще всего начинается изучение курса ТОЭ, лежит принцип построения математической модели реального электромагнитного устройства, отображающей его свойства, с последующим исследованием модели с помощью соответствующего математического аппарата.

В математической модели рассматриваются идеализированные элементы (активные и пассивные), каждый из которых отражает только одну сторону реального электромагнитного процесса.

К сожалению, на этом этапе изложения курса ТОЭ начинают проявляться несоответствия и неопределенности, связанные с отсутствием в государственных стандартах Украины [8] общепринятой стандартизированной терминологии идеальной электрической цепи, ее схемы и идеализированных схемных элементов.

Если для реальных пассивных элементов электрической цепи принята четкая однозначная терминология – резистор, катушка индуктивности и конденсатор, то для идеализированных элементов четкой терминологии нет.

В ГОСТах Российской Федерации [9] дано определение идеального элемента как абстрактное представление элемента электрической цепи, характеризуемое одним параметром. Согласно этому определению пассивные элементы должны иметь названия: идеальный резистор, идеальная катушка индуктивности, идеальный конденсатор. Однако эти определения громоздки, неудобны и поэтому не прижились в учебной литературе по курсу ТОЭ. Так в работе [10] идеализированные элементы называют также резистивным, индуктивным и емкостным

элементом, однако тут же отмечается, что в теории электрических цепей эти элементы называют просто сопротивлением, индуктивностью и емкостью. При этом оговаривается, что использование сокращенной терминологии «сопротивление», «индуктивность» и «емкость» не только в качестве параметров реального и идеализированного элементов, но и в качестве названий идеализированных элементов является не вполне удачным и оправдывается только компактностью изложения.

Если проанализировать учебную литературу по теории электрических цепей, то видно, что аналогично поступают в большинстве учебников. Например, в работе [11] очень четко вводятся в рассмотрение реальные пассивные элементы электрической цепи и даются их схемы замещения, при этом идеализированные схемные элементы называют идеальной индуктивностью или индуктивностью без потерь, идеальным конденсатором (конденсатором без потерь), идеальным резистором. Однако в последующем изложении учебного курса используются выражения: «напряжение на индуктивности», «ток в емкости», «последовательное и параллельное соединение сопротивлений», которые говорят о том, что термины «идеальный резистор», «идеальная катушка индуктивности» и «идеальный конденсатор» не удобны при изложении учебного материала и практически не используются в учебной литературе.

В учебнике [12] для идеализированных схемных элементов сразу вводятся термины «емкость», «индуктивность», «сопротивление» и приводится графическое изображение этих элементов на схемах. При этом четко оговаривается, что реальные элементы электрической цепи: конденсатор, катушка индуктивности и резистор обладают в той или иной мере свойствами всех трех идеализированных схемных элементов и могут быть представлены соответствующими схемами замещения. Такой подход, на мой взгляд, является наиболее рациональным, так как четко определяет идеализированные схемные элементы, их отличие от соответствующих реальных элементов электрической цепи и не вносит путаницы в изложение материала курса ТОЭ.

Совершенно аналогичная ситуация прослеживается и с активными элементами электрической цепи. Если обратиться к ГОСТУ Р5 2002-2003, то для реальных источников электрической энергии используются термины «источник напряжения», «источник тока», а для идеализированных схемных элементов добавляется слово «идеальный». В стандарте Украины [8] реальные источники называют «источник ЭДС» и «источник тока». Необходимо отметить, что в [9] введено понятие «электродвижущая сила» (ЭДС), но отсутствует понятие источника ЭДС. В учебниках по курсу ТОЭ идеальный источник напряжения называют «источником ЭДС», «источником напряжения» [10], «идеальным источником ЭДС» [11], что вносит путаницу в определение основополагающих понятий теории цепей.

Еще больше отличий и неопределенностей связано с идеализированным источником тока. Дело в том, что при определении ЭДС как скалярной величины, характеризующей способность стороннего поля разделять заряды разных знаков и создавать напряжение, совершенно не упомянули о другой способности сторонних сил: непосредственно вызывать электрический ток без разделения зарядов. Эту способность сторонних сил можно также характеризовать некоторой скалярной величиной, которую по аналогии с ЭДС назвать токодвижущей силой (ТДС). Тогда, если для идеального источника напряжения принять широко используемый термин «источник ЭДС», то для идеального источника тока подходит термин «источник ТДС». Это два идеализированных элемента бесконечно большой мощности и бесконечно малым (источник ЭДС) или бесконечно большим (источник ТДС) внутренним сопротивлением. В природе таких элементов нет. Реальные источники электрической энергии обладают конечной мощностью, конечным внутренним сопротивлением и могут быть представлены двумя эквивалентными схемами замещения: последовательным соединением источника ЭДС и сопротивления (источник напряжения) и параллельным соединением источника ТДС и сопротивления (источник тока).

При таком определении идеализированных активных элементов электрической цепи значительно упрощается, становится более четким и понятным изложение материала.

При построении модели реальной электрической цепи с помощью идеализированных элементов возникают ситуации, при которых свойства идеализированных элементов вступают в противоречия друг с другом. Задача анализа электрической цепи в этих случаях считается поставленной некорректно. Так, режим короткого замыкания для источника ЭДС и холостого хода для источника ТДС не имеют смысла. Аналогично не имеют смысла и не рассматриваются в рамках теории цепей параллельное соединение источников ЭДС и последовательное соединение источников ТДС различной величины, использование контуров, составленных только из источников ЭДС, и сечений, образованных только источниками ТДС, и ряд других случаев.

Некорректная постановка задачи возникает вследствие применения излишне упрощенных моделей реальной электрической цепи. Более точный учет характеристик реальных элементов снимает все противоречия. Например, учет внутренних сопротивлений реальных источников электрической энергии позволяет рассматривать любые виды соединений этих элементов.

С точки зрения методологических основ курса ТОЭ очень важным вопросом при построении модели электрической цепи является понятие схемы электрической цепи.

В работе [9] дано следующее определение термину «схема»: это - «графическое изображение электрической цепи, содержащее условные обозначения ее элементов и показывающее соединение этих элементов». К сожалению, в гостированных обозначениях элементов электрической цепи нет условных обозначений идеализированных схемных элементов, поэтому реальные элементы электрической цепи и идеализированные схемные элементы изображаются совершенно одинаково. Имея перед собой схему электрической цепи, невозможно однозначно сказать, какие элементы там изображены - конденсаторы, катушки индуктивности и резисторы или идеализированные схемные элементы.

В учебной литературе по курсу ТОЭ чаще всего либо дается определение понятия схемы электрической цепи, подобно [9, 10], либо вообще не дается [11], хотя широко используется при изложении материала.

В зависимости от назначения и сферы использования схемы электрических цепей могут классифицироваться по различным признакам. Например, структурные или блок-схемы отражают отдельные функциональные части цепи и связи между ними. Они используются при проектировании электротехнических и радиотехнических устройств и отображении функциональных связей их составляющих.

Монтажные схемы, на которых изображены реальные элементы электрической цепи, их расположение в устройстве и соединения между ними, используются для сборки и монтажа аппаратуры.

Принципиальные электрические схемы представляют собой графическое изображение реальной цепи, на которой с помощью условных графических обозначений показаны реальные элементы цепи и соединения между ними. Такие схемы используются для настройки и ремонта аппаратуры.

Расчетная схема замещения электрической цепи – это графическое изображение моделирующей цепи (идеальной электрической цепи) с помощью идеализированных схемных элементов, которая замещает реальную цепь в рамках решаемой задачи. Ввиду отсутствия стандартизированных обозначений идеализированных схемных элементов принципиальные схемы и расчетные схемы замещения выглядят совершенно одинаково, что может вносить путаницу в понимание студентами излагаемого материала. Следует четко и определенно донести до студентов, что в курсе ТОЭ рассматриваются только расчетные схемы замещения электрических цепей. Расчетную схему можно получить из принципиальной электрической схемы путем замены каждого реального элемента цепи его схемой замещения в условиях данной задачи.

При составлении расчетной схемы замещения нет необходимости учитывать все второстепенные параметры реальных элементов, а достаточно учесть только те, которые имеют существенное влияние на протекание реальных процессов.

В зависимости от обстоятельств (диапазон рабочих частот, точность расчета и т.д.) одни и те же реальные элементы электрической цепи могут изображаться различными схемами замещения.

**Выводы.** При изложении материала курса ТОЭ студентам с первых же лекций следует донести следующие основополагающие принципы:

1. Теория электромагнитного поля, в основе которой лежат уравнения Максвелла, рассматривает электромагнитные процессы во времени и в пространстве и является строгой физической теорией.

2. Теория электрических цепей рассматривает процессы только во времени, отбрасывая пространство, поэтому она не является физически строгой теорией. В основе теории цепей лежит построение математической модели – идеальной электрической цепи, содержащей идеализированные пассивные и активные элементы. Для описания процессов в идеальной цепи используются такие скалярные величины, как ток, напряжение, ЭДС и др.

3. На практике для описания электромагнитных процессов в реальных устройствах используются различные виды схем электрических цепей. Курс ТОЭ оперирует только с расчетными схемами замещения, на которых изображены идеализированные схемные элементы.

**Перспективой дальнейших исследований** является разработка предложений по дополнению государственных стандартов Украины, связанных с определением основных понятий электротехники, терминами для описания идеальной электрической цепи, расчетной схемы замещения и идеализированных схемных элементов.

#### **Список использованных источников**

1. Панкова Н. Г. Методика обучения электротехническим дисциплинам в техническом университете с применением информационных технологий: дис. ... канд. пед. наук / Н.Г. Панкова. – Нижний Новгород, 2004. – 197 с.
2. Цапенко В. Н. Методика преподавания электротехнических дисциплин: учеб. пособие для студентов спец. «Профессиональное обучение» (Электроэнергетика, электротехника и электротехнологии) / В.Н. Цапенко, О. В. Филимонова. – Самара: Изд-во СГТУ, 2009. – 140 с.
3. Новые информационные технологии в электротехническом образовании (НИТЭ - 2003): сб. науч. тр. VI междунар. науч.-метод. конф. – Астрахань, 2003. – 252 с.
4. Латынин Ю. М. Определение основных величин и законов учебной дисциплины и сущностный метод преподавания. / Ю.М. Латынин // Харківська вища школа: методичні пошуки на рубежі століть. – Х., 2001. – С. 328–332.
5. Латинін Ю.М. Вітчизняний підручник з електротехніки: аналіз стану та шляхи становлення / Ю.М. Латинін, В.І. Мілих // Електротехніка і електромеханіка. – 2004. – № 4. – 110 с.
6. Латинін Ю.М. Проблеми вітчизняного навчального посібника з електротехніки (ч.2). / Ю.М. Латинін // Пробл. інж.-пед. освіти: зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Х., 2005. – Вип. 11. – С. 112–122.
7. Каплянский А.Е. Методика преподавания теоретических основ электротехники: учеб.-метод. пособие / А.Е. Каплянский. – М.: Высш. шк., 1975. – 142 с.
8. ДСТУ 2843–94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 67 с.
9. Гост Р5 2002-2003. Електротехніка. Термины и определения основных понятий. – М.: Госстандарт России, 2003. – 27 с.
10. Попов В. П. Основы теории цепей: учеб. для вузов / В.П. Попов – М.: Высш. шк., 2000. – 575 с.
11. Теоретичні основи електротехніки : підручник / В.С. Бойко [та ін.]. – К.: ІВЦ Вид-во «Політехніка», 2004. – 272 с.
12. Основи теорії кіл: підруч. для студ. вищ. навч. закладів / Ю.О. Коваль, Л.В. Гринченко, І.О. Милютченко, О.І. Рибін. – Х.: Компанія СМІТ, 2008. – 432 с.

#### **Фесенко Л.Д.**

##### *О некоторых методологических основах преподавания курса ТОЭ*

В статье акцентировано внимание на некоторых методологических основах изложения дисциплины «Теоретические основы электротехники», которые закладывают фундамент курса и методику его дальнейшего изучения. Проанализирована терминология, используемая в учебниках для названия элементов идеализированной электрической цепи, и даны рекомендации о необходимости внесения дополнений в существующие ГОСТы.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, теория электрических цепей, схема замещения, идеализированные элементы, источник ЭДС, источник тока, методика преподавания материала.

#### **Фесенко Л.Д.**

##### *Про деякі методологічні основи викладання курсу ТОЕ*

У статті акцентована увага на деяких методологічних основах викладання дисципліни «Теоретичні основи електротехніки», які закладають фундамент курсу і методику його подальшого вивчення. Проаналізована термінологія, яка використовується в підручниках для назв елементів ідеалізованого електричного кола, і подані рекомендації щодо необхідності внесення доповнень в існуючі ДОСТи.

**Ключові слова:** електромагнітне поле, теорія електричних кіл, схема заміщення, ідеалізовані елементи, джерело ЕРС, джерело струму, методика подання матеріалу.

**L. Fesenko**

*About Some Methodological Principles of Teaching the Course of Theoretical Principles of Electrical Engineering*

In the article attention is accented on some methodological bases of teaching the discipline «Theoretical principles of electrical engineering» which lay the foundation of the course and method of further study. The terminology is analyzed which is used in the textbooks to name elements of an idealized electric circle and recommendations are given concerning additions to the available state standards.

**Key words:** electromagnetic field, theory of electric chains, equivalent circuit, idealized elements, E.M.F. source, source of current, methodology of teaching the material.

*Стаття надійшла до редакції 11.08.2010 р.*